

**Semiconductor laser**

Patent Number: ☐ US6285694  
Publication date: 2001-09-04  
Inventor(s): SHIGIHARA KIMIO (JP)  
Applicant(s): MITSUBISHI ELECTRIC CORP (US)  
Requested Patent: ☐ JP11233883  
Application Number: US19980073760 19980507  
Priority Number(s): JP19980035732 19980218  
IPC Classification: H01S5/00  
EC Classification: H01S5/22  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

A semiconductor laser includes a semiconductor substrate of a first conductivity type and having a front surface; a first semiconductor layer disposed on the front surface of the semiconductor substrate and having a refractive index that increases with distance from the semiconductor substrate; an active layer disposed on the first semiconductor layer; and a second semiconductor layer disposed on the active layer, having a refractive index that decreases with distance from the active layer, and having a ridge. In this laser, the refractive index distribution between the ridge and the substrate is asymmetrical about the active layer so that the center of the intensity of light generated in the semiconductor laser distribution shifts from the active layer toward the substrate, in the direction perpendicular to the front surface of the substrate. Therefore, propagated light is hardly affected by the refractive index distribution in the width direction of the laser, caused by the presence of the ridge, so that higher oscillation is suppressed

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-233883

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-35732

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月18日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 嶋原 君男

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

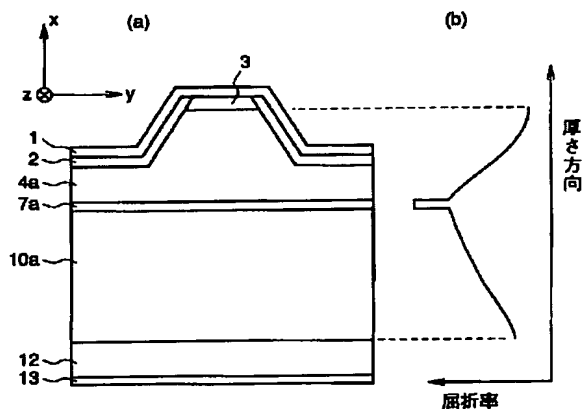
(74) 代理人 弁理士 早瀬 憲一

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 上クラッド層のリッジ部とリッジ部の外側部分との屈折率差によって生じる幅方向の屈折率分布が導波光に対して与える影響が小さくし、キンク発生の原因である高次モードの発生を防ぐことを課題とする。

【解決手段】 厚さ方向の屈折率分布が活性層7aから見て非対称形となるよう、基板2側のn-AlGaAs下クラッド層10aの厚さ及び屈折率を、リッジ側のp-AlGaAs上クラッド層4aよりそれぞれ厚くかつ大きくするようにした。



- 1: p側電極
- 2: 絶縁膜
- 3: p-GaAsコンタクト層
- 4a: p-AlGaAs上クラッド層
- 7a: アンダープレインGaAs活性層
- 10a: n-AlGaAs下クラッド層
- 12: n-GaAs基板
- 13: n側電極

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型半導体基板と、

該第1導電型半導体基板上に配置されており、屈折率が基板から離れるにつれて増加する第1半導体層と、

該第1半導体層上に配置された活性層と、

該活性層上に配置されており、屈折率が上記活性層から離れるにつれて減少する、その上部がリッジ形状を有する第2半導体層とを備え、

上記半導体基板の高さ方向において、光強度分布が上記活性層を中心として基板側にシフトするように、上記活性層から見たリッジ形状側と基板側との屈折率分布を非対称となるようにしたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 請求項1に記載の半導体レーザにおいて、

上記第1半導体層は、第1導電型の下クラッド層と、該下クラッド層上に配置された基板側ガイド層とからなり、

上記第2半導体層は、リッジ側ガイド層と、該ガイド層上に配置された第2導電型の上クラッド層とからなり、上記基板側ガイド層の厚さまたは屈折率の少なくとも一方を上記リッジ側ガイド層よりも厚くまたは大きくしたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項3】 請求項2に記載の半導体レーザにおいて、

上記下クラッド層の屈折率を上クラッド層よりも大きくしたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項4】 請求項1に記載の半導体レーザにおいて、

上記第1半導体層は、第1導電型の下クラッド層を有し、

上記第2半導体層は、第2導電型の上クラッド層を有しており、

上記下クラッド層の屈折率または厚さの少なくとも一方を上クラッド層よりも大きくまたは厚くしたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項5】 請求項4に記載の半導体レーザにおいて、

上記下クラッド層は、屈折率が活性層に向かって連続的に増加しており、

上記上クラッド層は、屈折率が活性層から離れるに連れて連続的に減少していることを特徴とする半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は半導体レーザに関し、特に、情報処理あるいは光通信等の光源として用いられる半導体レーザに関するものである。

【0002】

【従来の技術】図9は、J. Hashimoto et. al., IEEE J. Quantum Electron., vol. 33, pp.66-70, 1997で開

示された従来のリッジ型半導体レーザの構造を示す断面図(図9(a))及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図(図9(b))であり、図において、1はp側電極、2は絶縁膜、3はp型(以下、p-と称す)GaAsのコンタクト層、4はその上部がレーザ共振器長方向に延びるストライプ状のリッジ形状を有しているp-GaInPの上クラッド層、5はリッジ側のアンドープGaInAsPからなる第2ガイド層、6はリッジ側のアンドープGaAsからなる第1ガイド層、7は活性層、8はリッジ側第1ガイド層6と組成比及び厚さが同じである基板側のアンドープGaAsからなる第1ガイド層、9はリッジ側第2ガイド層5と組成比及び厚さが同じである基板側のアンドープGaInAsPからなる第2ガイド層、10は上クラッド層4と組成比が同じで、クラッド層4のリッジ形状を有している部分との厚さが同じであるn型(以下、n-と称す)GaInPの下クラッド層、11はn-GaAsのバッファ層、12はn-GaAsの基板、13はn側電極である。

【0003】次に動作について説明する。上クラッド層4側から正孔が、下クラッド層10側からは電子が活性層7に注入され、再結合することによって光が発生する。発生した光は、各半導体層の積層方向、即ち厚さ方向(x)、及び厚さ方向(x)とレーザ共振器長方向(z)とに垂直な方向、即ち幅方向(y)の屈折率の影響を受けながら共振器長方向(z)に伝搬し、端面で反射しながら増幅して発振に至る。

【0004】従来の半導体レーザにおいては、厚さ方向(x)の屈折率分布は活性層7を中心としてその上下に位置する上クラッド層4、下クラッド層10に達するまで対称に分布するようにしていた。つまり、図9(b)に示すように、リッジ側第1ガイド層6と基板側第1ガイド層8、リッジ側第2ガイド層5と基板側第2ガイド層9、上クラッド層4と下クラッド層10はそれぞれ屈折率及び層厚が等しく設定されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来のリッジ型半導体レーザは、屈折率分布が厚さ方向において活性層7から見て対称形を成すような構造を有しているため、導波される光は厚さ方向において活性層7から見てほぼ対称に分布していた。しかしながら、上クラッド層4がリッジ形状を有していることにより幅方向において屈折率差が生じているため、上記のように導波される光が活性層7を中心としてほぼ対称に分布すると、導波される光がリッジ部で受ける幅方向の屈折率の影響が大きくなり、高次モードが許容されている。この結果、モード競合によって生じるキックが低出力動作時に生じ、実用上の高出力化が図れないという問題があった。

【0006】この発明は上記のような課題を解消するためになされたものであり、高次モードの発生をより高出力側へシフトすることができるリッジ構造を備えた半導

体レーザを提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明に係る半導体レーザは、第1導電型半導体基板と、該第1導電型半導体基板上に配置されており、屈折率が基板から離れるにつれて増加する第1半導体層と、該第1半導体層上に配置された活性層と、該活性層上に配置されており、屈折率が上記活性層から離れるにつれて減少する、その上部がリッジ形状を有する第2半導体層とを備えており、上記半導体基板の高さ方向において、光強度分布が上記活性層を中心として基板側にシフトするように、上記活性層を中心としたリッジ形状側と基板側との屈折率分布を非対称となるようにしたものである。

【0008】また、この発明に係る半導体レーザは、上記第1半導体層を、第1導電型の下クラッド層と、該下クラッド層上に配置された基板側ガイド層とからなるようにし、上記第2半導体層を、リッジ側ガイド層と、該ガイド層上に配置された第2導電型の上クラッド層とからなるようにし、上記基板側ガイド層の厚さまたは屈折率の少なくとも一方を上記リッジ側ガイド層よりも厚くまたは大きくしたものである。

【0009】また、この発明に係る半導体レーザは、上記下クラッド層の屈折率を上クラッド層よりも大きくしたものである。

【0010】また、この発明に係る半導体レーザは、上記第1半導体層を、第1導電型の下クラッド層を有するものとし、上記第2半導体層を、第2導電型の上クラッド層を有するものとし、上記下クラッド層の屈折率または厚さの少なくとも一方を上クラッド層よりも大きくまたは厚くしたものである。

【0011】また、この発明に係る半導体レーザは、上記下クラッド層を、屈折率が活性層に向かって連続的に増加しているものとし、上記上クラッド層を、屈折率が活性層から離れるに連れて連続的に減少しているものとしたものである。

〔発明の詳細な説明〕

【0012】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は本発明の実施の形態1に係る半導体レーザの構造を示す断面図(図1(a))、及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図(図1(b))であり、図において、 $n\text{-GaAs}$ 基板12上に第1半導体層としての $n\text{-AlGaAs}$ の下クラッド層10a、アンドープ $\text{InGaAs}$ の活性層7a、第2半導体層としての $p\text{-AlGaAs}$ の上クラッド層4aが順次配置されている。上クラッド層4aの上部はレーザ共振器長方向にストライプ状に延びるリッジ部が設けられている。この上クラッド層4aのリッジ部上に $p\text{-GaAs}$ のコンタクト層3が配置されており、上クラッド層4aの表面及びコンタクト層3の上部以外の表面は酸化シリコン膜等の絶縁膜2で覆われ、 $p$ 側電極1はこの

絶縁膜2上、及びコンタクト層3上に配置されている。また、基板12の裏面上には $n$ 側電極13が配置されている。

【0013】基板12側の下クラッド層10aの厚さ及びその基板12側の屈折率は、リッジ側の上クラッド層4aの厚さ及びそのリッジ部の最上部の屈折率よりそれぞれ厚くかつ大きくしている。ここでは、下クラッド層10aの $A1$ 組成比を上クラッド層4aの $A1$ 組成比よりも小さくして屈折率を異なるものとしている。また、それぞれの屈折率分布は、活性層7aから離れるにつれて、順次小さくなるようにしている。これによって、厚さ方向の上クラッド層4aと下クラッド層10aとの間の屈折率分布が活性層7aから見て非対称形になっている。

【0014】つぎに製造方法について簡単に説明する。まず、基板12の表面に下クラッド層10a、活性層7a、上クラッド層4a、及びコンタクト層3を結晶成長させる。なお、下クラッド層10aは、 $A1$ 組成比を連続的に減少させるように成長させ、上クラッド層10bは $A1$ 組成比を連続的に増加させるように成長させる。

【0015】続いて、平面形状がストライプ形状の絶縁膜からなるマスク(図示せず)をコンタクト層3上に形成し、これをマスクとしてコンタクト層3及び上クラッド層4aの上部を選択エッチングし、リッジ形状に加工し、マスクを除去した後、基板12の表面に絶縁膜2を形成し、この絶縁膜2のコンタクト層3上の領域をエッチングにより除去し、さらに、基板12の表面側に $p$ 側電極1を形成し、基板12の裏面に $n$ 側電極13を形成して、へき開によりレーザ共振器端面を形成して図1に示すような半導体レーザを得る。

【0016】次に動作について説明する。上クラッド層4aのリッジ部上から正孔が、下クラッド層10a側から電子が活性層7aに注入され、そこで再結合することによって光が発生する。発生した光は、厚さ方向( $x$ )及び幅方向( $y$ )において屈折率の影響を受けながらレーザ共振器長方向( $z$ )に伝搬し、端面で反射しながら増幅して発振に至る。

【0017】本実施の形態1に係る半導体レーザにおいては、上述したように、厚さ方向( $x$ )の屈折率分布が活性層7aから見て非対称形となるよう、基板12側の下クラッド層10aの厚さ及び屈折率を、リッジ側の上クラッド層4aよりそれぞれ厚くかつ大きくしている。このように厚さ方向の屈折率分布を設定しているため、光は活性層7aから見てリッジ側よりも基板12側により多く分布するようになる。このため、上クラッド層4aのリッジ部とリッジ部の外側部分との屈折率差によって生じる幅方向の屈折率分布が導波光に対して与える影響が小さくなり、キンク発生の原因である高次モードの発生を防ぐことができる。これにより、実用的な高出力動作が可能となる。また、リッジ幅を拡げた場合において

も基本モードのみが許容されるようにすることができる。

【0018】なお、本実施の形態1においては、下クラッド層10aの厚さ及び屈折率を、上クラッド層4aよりそれぞれ厚くかつ大きくして、活性層7aから見た下クラッド層10aと上クラッド層4aとの間の屈折率分布を非対称としたが、本発明においては、光強度分布が活性層を中心として基板側にシフトするよう屈折率分布を非対称とすればよく、例えば、 $n\text{-AlGaAs}$ 下クラッド層10aの厚さまたは屈折率のいずれか一方を、上クラッド層4aよりも厚くまたは大きくして屈折率分布を非対称となるようにしてもよい。

【0019】また、本実施の形態1においては、上下クラッド層の屈折率が活性層に向かって連続的に増加するようにしたが、下クラッド層の厚さ及び屈折率が上クラッド層よりもそれぞれ厚くかつ大きくなっていけば、上下クラッド層の屈折率は厚さ方向に一定であってもよい。

【0020】実施の形態2。図2は、本発明の実施の形態2に係る半導体レーザの構造を示す断面図(図2(a))、及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図(図2(b))であり、この実施の形態2に係る半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザにおいて、活性層と基板との間に単層の下クラッド層である第1半導体層を設ける代わりに、基板12側から順次積層された $n\text{-AlGaAs}$ の下クラッド層10b、厚さ $g_{L2}$ の基板側のアンドープ $\text{AlGaAs}$ からなる第2ガイド層9a、及び厚さ $g_{L1}$ の基板側のアンドープ $\text{GaAs}$ からなる第1ガイド層8aで構成される第1複合半導体層を設けるようにし、さらに、活性層上の上クラッド層である第2半導体層の代わりに、活性層7a上に順次積層された厚さ $g_{U1}$ のリッジ側のアンドープ $\text{GaAs}$ からなる第1ガイド層6a、厚さ $g_{U2}$ のリッジ側のアンドープ $\text{AlGaAs}$ からなる第2ガイド層5a、その上部にリッジ部を備えた $p\text{-AlGaAs}$ の上クラッド層4bで構成される第2複合半導体層を設けるようにしたものである。基板側第1ガイド層8aの層厚 $g_{L1}$ 及び基板側第2ガイド層9aの層厚 $g_{L2}$ は、それぞれリッジ側第1ガイド層6aの層厚 $g_{U1}$ 及びリッジ側第2ガイド層5aの層厚 $g_{U2}$ より厚くなっている。下クラッド層10b、基板側第1ガイド層8a、基板側第2ガイド層9a、リッジ側第1ガイド層6a、リッジ側第2ガイド層5a及び上クラッド層4bは、それぞれの厚さ方向の屈折率が一定となっている。また、基板側第2ガイド層9aの $\text{Al}$ 組成比は、下クラッド層10bの $\text{Al}$ 組成比よりも低くなっており、リッジ側第2ガイド層5aの $\text{Al}$ 組成比は、上クラッド層4bの $\text{Al}$ 組成比よりも大きくなっており、この結果、第1複合半導体層は、基板12から離れるにつれて段階的に屈折率が増加する構造となっており、第2複合半導体層は、活性層7aから離れるにつれて段階的

に屈折率が減少する構造となっている。また、図において、図1と同一符号は同一または相当する部分を示しており、 $W$ はリッジ幅を、 $t$ は上クラッド層4bのリッジ脇の部分、即ちリッジ部以外の厚さを示している。

【0021】この半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザの製造方法において、下クラッド層の代わりに、上記下クラッド層10b、第2ガイド層9a、第1ガイド層8aを、また、上クラッド層の代わりに上記第1ガイド層6a、第2ガイド層5a、上クラッド層4bをそれぞれ成長させることにより形成する。

【0022】この半導体レーザにおいては、図2(b)に示すように基板側第1ガイド層厚 $g_{L1}$ 及び基板側第2ガイド層厚 $g_{L2}$ を、それぞれリッジ側第1ガイド層厚 $g_{U1}$ 及びリッジ側第2ガイド層厚 $g_{U2}$ より厚くなるようにして、上クラッド層4bと下クラッド層10bとの間の活性層7aから見た厚さ方向の屈折率分布が非対称になっている。このような構造にすることにより、導波される光の光強度分布が活性層7aを基準としてみた場合に、リッジ側よりも基板側にシフトして、基板側に光が多く分布するため、リッジ部の存在による幅(y)方向の屈折率分布の影響を受けにくくなり、高次モードの発生を抑制することができる。

【0023】以下に基板側の各ガイド層厚を厚くすることによる効果をシミュレーションの結果に基づいて説明する。図3は本発明の実施の形態2に係る半導体レーザのシミュレーション結果を示す図であり、縦軸はリッジ脇部分の上クラッド層4bの厚さ $t$ を示し、横軸はリッジ幅 $W$ を示している。また、実線及び破線は、この厚さ $t$ とリッジ幅 $W$ とから、透過屈折率法を用いて計算した基本モードのみが許される領域と1次モードも許容される領域との境界線をそれぞれ示しており、この境界線よりも下側が基本モードのみが許される領域で、その上側が1次モードも許容される領域となっている。このシミュレーションにおいては、上クラッド層4bは、 $\text{Al}$ 組成比0.3とし、リッジ部の層厚は $t+1.4\mu\text{m}$ 、リッジ側第2ガイド層5aは $\text{Al}$ 組成比0.2とし、活性層7aは厚さ20nmの $\text{GaAs}$ 層を $\text{In}$ 組成比が0.15で厚さが8nmである2層の $\text{InGaAs}$ で挟んだ量子井戸構造とし、基板側第2ガイド層9aは $\text{Al}$ 組成比0.2とし、下クラッド層10aは $\text{Al}$ 組成比0.3で厚さ $t+1.4\mu\text{m}$ とする。破線で示した結果は、リッジ側第1ガイド層6aと基板側第1ガイド層8aの厚さが等しく0.02 $\mu\text{m}$ であり、かつリッジ側第2ガイド層5aと基板側第2ガイド層9aの厚さが等しく0.04 $\mu\text{m}$ であり、活性層7aの上下において屈折率分布が対称な場合のもので、実線で示した結果は、リッジ側第2ガイド層5aの層厚を0.04 $\mu\text{m}$ 、リッジ側第1ガイド層6aの層厚を0.02 $\mu\text{m}$ 、基板側第1ガイド層8aの層厚を0.04 $\mu\text{m}$ 、基板側第2ガイド層9aの層厚を0.06 $\mu\text{m}$ として、屈折率分布を図2に示す

ように非対称な構造にした場合を実線で示す。非対称構造にすると、対称構造の場合に比べて基本モードと1次モードの境界が上方にシフトすることが分かる。たとえば、 $t = 0.40 \mu\text{m}$  のとき対称構造ではリッジ幅  $w$  が約  $3.65 \mu\text{m}$  に基本モードのみが許される領域と1次モードも許容される領域との境界があるのに対して、非対称構造では約  $4.05 \mu\text{m}$  となる。対称構造の半導体レーザで基本モードと1次モードが許容されるためキックが生じ易い領域においても、本実施の形態2に係る半導体レーザにおいては基本モードのみが許容されるのでキックの発生を抑えられることがわかる。

【0024】なお、上記実施の形態2においては、基板12側の第1ガイド層8aの層厚及び第2ガイド層9aの層厚をそれぞれ厚くして、光強度分布が基板12側にシフトするようにしたが、第1ガイド層8aあるいは第2ガイド層9aのいずれか一方を厚くしても同様の効果を奏する。

【0025】また、上記実施の形態2においては、活性層7aの上下に設けられるガイド層がそれぞれ2層からなるようにしたが、本発明においては、活性層7aの上下に設けられるガイド層が1層のみとしても、基板側のガイド層を厚くすることにより同様の効果を奏する。

【0026】さらに、活性層7aの上下に設けられるガイド層が3層以上の複数存在するときも、基板側のガイド層のいずれかひとつあるいは複数を厚くすることにより同様の効果を奏する。

【0027】また、上記実施の形態2においては、活性層7aの上下に設けられる各ガイド層の屈折率が、その厚さ方向において一定であるようにしたが、本発明においては、活性層7aの上下に設けられる各ガイド層の屈折率が活性層側に向かって連続的に増加する構造であっても、基板側のガイド層を厚くすることにより同様の効果を奏する。

【0028】実施の形態3。図4は、本発明の実施の形態3に係る半導体レーザの構造を示す断面図（図4(a)）、及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図（図4(b)）であり、この実施の形態3に係る半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザにおいて、活性層と基板との間に単層の下クラッド層である第1半導体層を設ける代わりに、基板側から順次積層された  $n\text{-AlGaAs}$  の下クラッド層10b、屈折率  $n_{lg2}$  の基板側のアンドープ  $\text{AlGaAs}$  からなる第2ガイド層9b、及び屈折率  $n_{lg1}$  の基板側のアンドープ  $\text{GaAs}$  からなる第1ガイド層8bで構成される第1複合半導体層を設けるようにし、さらに、活性層上のリッジ部を有する上クラッド層である第2半導体層の代わりに、活性層上に順次積層された屈折率  $n_{ug1}$  のリッジ側のアンドープ  $\text{GaAs}$  からなる第1ガイド層6b、屈折率  $n_{ug2}$  のリッジ側のアンドープ  $\text{AlGaAs}$  からなる第2ガイド層5b、その上部にリッジ部を備えた  $p\text{-AlGaAs}$  の上

クラッド層4bで構成される第2複合半導体層を設けるようにしたものである。基板側第1ガイド層8bの屈折率  $n_{lg1}$  及び基板側第2ガイド層9bの屈折率  $n_{lg2}$  は、それぞれリッジ側第1ガイド層6bの屈折率  $n_{ug1}$  及びリッジ側第2ガイド層5bの屈折率  $n_{ug2}$  より大きくなっている。これらの半導体層をこのような屈折率とするためにはそれぞれの  $\text{Al}$  組成比を変化させればよい。基板側第1ガイド層8b、基板側第2ガイド層9b、リッジ側第1ガイド層6b及びリッジ側第2ガイド層5bの、それぞれの厚さ方向の屈折率は一定となっている。また、基板側第2ガイド層9bの  $\text{Al}$  組成比は、下クラッド層10bの  $\text{Al}$  組成比よりも低くなっており、リッジ側第2ガイド層5bの  $\text{Al}$  組成比は、上クラッド層4bの  $\text{Al}$  組成比よりも大きくなっており、この結果、第1複合半導体層は、基板12から離れるにつれて段階的に屈折率が増加する構造となっており、第2複合半導体層は、活性層7aから離れるにつれて段階的に屈折率が減少する構造となっている。また、図において、図1、2と同一符号は同一または相当する部分を示している。

【0029】この半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザの製造方法において、下クラッド層の代わりに、下クラッド層10b、基板側第2ガイド層9b、及び基板側第1ガイド層8bを、また、上クラッド層の代わりにリッジ側第1ガイド層6b、リッジ側第2ガイド層5b、上クラッド層4bを、それぞれ成長させることにより形成する。

【0030】この半導体レーザにおいては、図4(b)に示すように基板側第1ガイド層8bの屈折率  $n_{lg1}$  及び基板側第2ガイド層9bの屈折率  $n_{lg2}$  を、それぞれリッジ側第1ガイド層6bの屈折率  $n_{ug1}$  及びリッジ側第2ガイド層5bの屈折率  $n_{ug2}$  より厚くなるようにして、上クラッド層4bと下クラッド層10bとの間の、活性層7aから見た、厚さ方向の屈折率分布を非対称としている。このような構造にすることにより、導波される光の光強度分布が活性層7aに対して基板側にシフトして、基板側に光が多く分布するため、リッジ部の存在による幅(y)方向の屈折率分布の影響を受けにくくなり上記実施の形態1と同様の効果を奏する。

【0031】なお、上記実施の形態3においては、基板側の第1ガイド層8b及び第2ガイド層9bの屈折率をそれぞれ大きくしたが、第1ガイド層8bあるいは第2ガイド層9bのいずれか一方の屈折率を大きくした場合においても同様の効果を奏する。

【0032】また、活性層7aの上下に設けられるガイド層が1つのみである場合においても、基板側のガイド層の屈折率を大きくすることにより同様の効果を奏する。

【0033】さらに、活性層7aの上下に設けられるガイド層が3層以上の複数存在するときも、基板側のガイ

ド層のいずれかひとつあるいは複数の屈折率を大きくすることにより同様の効果を奏する。

【0034】また、上記実施の形態3においては、活性層7aの上下に設けられる各ガイド層の屈折率が、その厚さ方向において一定であるようにしたが、本発明においては、活性層7aの上下に設けられる各ガイド層の屈折率が活性層側に向かって連続的に増加する構造であっても、基板側の各ガイド層の屈折率を全体的に大きくすることにより同様の効果を奏する。

【0035】実施の形態4。図5は、本発明の実施の形態4に係る半導体レーザの構造を示す断面図(図5(a))、及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図(図5(b))であり、この実施の形態4に係る半導体レーザは、

上記実施の形態1に係る半導体レーザにおいて、活性層と基板との間に単層の下クラッド層からなる第1半導体層を設ける代わりに、基板12側から順次積層されたn-A1GaAsの下クラッド層10b、厚さ $g_{L2}$ 、屈折率 $n_{Lg2}$ の基板側のアンドープA1GaAsからなる第2ガイド層9c、及び厚さ $g_{L1}$ 、屈折率 $n_{Lg1}$ の基板側のアンドープGaAsからなる第1ガイド層8cで構成される第1複合半導体層を設けるようにし、さらに、活性層上のリッジ部を有する上クラッド層である第2半導体層の代わりに、活性層7a上に順次積層された厚さ $g_{U1}$ 、屈折率 $n_{Ug1}$ のリッジ側のアンドープGaAsからなる第1ガイド層6c、厚さ $g_{U2}$ 、屈折率 $n_{Ug2}$ のリッジ側のアンドープA1GaAsからなる第2ガイド層5c、その上部にリッジ部を備えたp-A1GaAsの上クラッド層4bで構成される第2複合半導体層を設けるようにしたものである。基板側第1ガイド層8cの層厚 $g_{L1}$ 及び基板側第2ガイド層9cの層厚 $g_{L2}$ は、それぞれリッジ側第1ガイド層6cの層厚 $g_{U1}$ 及びリッジ側第2ガイド層5cの層厚 $g_{U2}$ より厚くなっている。基板側第1ガイド層8cの屈折率 $n_{Lg1}$ 及び基板側第2ガイド層9cの屈折率 $n_{Lg2}$ は、それぞれリッジ側第1ガイド層6cの屈折率 $n_{Ug1}$ 及びリッジ側第2ガイド層5cの屈折率 $n_{Ug2}$ より大きくなっている。基板側第1ガイド層8c、基板側第2ガイド層9c、リッジ側第1ガイド層6c及びリッジ側第2ガイド層5cの、それぞれの厚さ方向の屈折率は一定である。また、基板側第2ガイド層9cのA1組成比は、下クラッド層10bのA1組成比よりも低くなっており、リッジ側第2ガイド層5cのA1組成比は、上クラッド層4bのA1組成比よりも大きくなっており、第1半導体層は基板12から離れるにつれて段階的に屈折率が増加する構造となっており、第2半導体層は活性層7aから離れるにつれて段階的に屈折率が減少する構造となっている。また、図において、図1、2と同一符号は同一または相当する部分を示している。

【0036】この半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザの製造方法において、下クラッド層の

代わりに、下クラッド層10b、基板側第2ガイド層9c、及び基板側第1ガイド層8cを、また、上クラッド層の代わりにリッジ側第1ガイド層6c、リッジ側第2ガイド層5c、上クラッド層4bを、それぞれ成長させることにより形成する。

【0037】この半導体レーザにおいては、図5(b)に示すように基板側第1ガイド層厚 $g_{L1}$ 及び基板側第2ガイド層厚 $g_{L2}$ を、それぞれリッジ側第1ガイド層厚 $g_{U1}$ 及びリッジ側第2ガイド層厚 $g_{U2}$ より厚くなるようにし、かつ、基板側第1ガイド層8aの屈折率 $n_{Lg1}$ 及び基板側第2ガイド層9aの屈折率 $n_{Lg2}$ を、それぞれリッジ側第1ガイド層6bの屈折率 $n_{Ug1}$ 及びリッジ側第2ガイド層5bの屈折率 $n_{Ug2}$ より大きくなるようにして、上クラッド層4bと下クラッド層10bとの間の、活性層7aから見た、厚さ方向の屈折率分布を非対称としている。このような構造にすることにより、導波される光の光強度分布が活性層7aを中心としてみた場合に基板側にシフトして、リッジ側よりも基板側に光が多く分布するため、リッジ部の存在による幅(y)方向の屈折率分布の影響を受けにくくなり上記実施の形態1と同様の効果を奏する。

【0038】なお、上記実施の形態4においては、基板側の第1ガイド層8c及び第2ガイド層9cの厚さ及び屈折率をリッジ側の第1ガイド層6c及び第2ガイド層5cに対してそれぞれ厚くまたは大きくしたが、第1ガイド層8cあるいは第2ガイド層9cのいずれか一方の厚さ及び屈折率を厚くまたは大きくした場合においても同様の効果を奏する。

【0039】また、活性層7aの上下に設けられるガイド層が1層のみである場合においても、基板側のガイド層の屈折率及び厚さを厚くまたは大きくすることにより同様の効果を奏する。

【0040】さらに、活性層7aの上下に設けられるガイド層が3層以上の複数存在するときも、基板側のガイド層のいずれかひとつあるいは複数の厚さ及び屈折率を厚くまたは大きくすることにより同様の効果を奏する。

【0041】また、上記実施の形態においては、活性層7aの上下に設けられる各ガイド層の屈折率が、その厚さ方向において一定であるようにしたが、本発明においては、活性層7aの上下に設けられる各ガイド層の屈折率が活性層側に向かって連続的に増加する構造であっても、基板側の各ガイド層の屈折率及び厚さを大きくかつ厚くすることにより同様の効果を奏する。

【0042】実施の形態5。図6は、本発明の実施の形態5に係る半導体レーザの構造を示す断面図(図6(a))、及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図(図6(b))であり、この実施の形態5に係る半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザにおいて、活性層と基板との間に単層の下クラッド層である第1半導体層を設ける代わりに、基板側から順次積層された屈折率n

$L_c$ である $n\text{-AlGaAs}$ の下クラッド層10c、基板側のアンドープ $\text{AlGaAs}$ からなる第2ガイド層9d、及び厚さ $g_{L1}$ 、屈折率 $n_{Lg1}$ の基板側アンドープ $\text{GaAs}$ からなる第1ガイド層8dで構成される第1複合半導体層を設けるようにし、さらに、活性層上のリッジ部を有する上クラッド層である第2半導体層の代わりに、活性層7a上に順次積層された、基板側第1ガイド層8dと厚さ及び屈折率が同じであるリッジ側のアンドープ $\text{GaAs}$ からなる第1ガイド層6d、基板側第2ガイド層9dと厚さ及び屈折率が同じであるリッジ側のアンドープ $\text{AlGaAs}$ からなる第2ガイド層5d、その上部にリッジ部を備えた屈折率 $n_{Lc}$ の $p\text{-AlGaAs}$ の上クラッド層4cで構成される第2複合半導体層を設けるようにしたものであり、下クラッド層10cと上クラッド層4cとのAl組成比を異なるようにして、下クラッド層10cの屈折率 $n_{Lc}$ は、上クラッド層4cの屈折率 $n_{Lc}$ より大きくしている。下クラッド層10c、基板側第2ガイド層9d、基板側第1ガイド層8d、リッジ側第1ガイド層6d、リッジ側第2ガイド層5d、及び上クラッド層4cの、それぞれの厚さ方向の屈折率は一定である。また、基板側第2ガイド層9cのAl組成比は、下クラッド層10bのAl組成比よりも低くなっており、この結果、第1複合半導体層は基板12から離れるにつれて段階的に屈折率が増加する構造となっており、第2複合半導体層は活性層7aから離れるにつれて段階的に屈折率が減少する構造となっている。また、図において、図1と同一符号は同一または相当する部分を示している。

【0043】この半導体レーザは、上記実施の形態1に係る半導体レーザの製造方法において、下クラッド層の代わりに、下クラッド層10c、基板側第2ガイド層9d、及び基板側第1ガイド層8dを、また、上クラッド層の代わりにリッジ側第1ガイド層6d、リッジ側第2ガイド層5d、上クラッド層4cを、それぞれ成長させることにより形成する。

【0044】この実施の形態5に係る半導体レーザにおいては、図6(b)に示すように、下クラッド層10cの屈折率を上クラッド層4cの屈折率よりも大きくして、上クラッド層4cと下クラッド層10cとの間の、活性層7aから見た厚さ方向の屈折率分布を非対称としている。このような構造にすることにより、導波される光の光強度分布が活性層7aの上下において基板側にシフトして、基板12側に光が多く分布するため、リッジ部の存在による幅(y)方向の屈折率分布の影響を受けにくくなり、上記実施の形態1と同様の効果を奏する。また、本実施の形態5においては下クラッド層10cに多くの光が分布するようになり、光の導波パターン自体が拡がるので厚さ方向(x)の遠視野像(Far Field Pattern: FFP)が狭くなり、結果的に厚さ方向FFPと幅方向FFPの比であるアスペクト比が低減できるという効果

がある。

【0045】次に、本実施の形態5について、基板12側の下クラッド層10cの屈折率を大きくすることによる効果を、以下にシミュレーションの結果に基づいて説明する。

【0046】図7は本発明の実施の形態5に係る半導体レーザのシミュレーション結果を示す図であり、縦軸はリッジ脇部分の上クラッド層4cの厚さ $t$ を示し、横軸はリッジ幅 $W$ を示している。また、実線及び破線は、この厚さ $t$ とリッジ幅 $W$ とから、透過屈折率法を用いて計算した基本モードのみが許される領域と1次モードも許容される領域との境界線をそれぞれ示しており、この境界線よりも下側が基本モードのみが許される領域で、その上側が1次モードも許容される領域となっている。このシミュレーションにおいては、上クラッド層4cは、Al組成比0.3とし、リッジ部の上クラッド層4cの層厚は $t+1.4\mu\text{m}$ 、リッジ側第2ガイド層5dはAl組成比0.2とし、活性層7aは厚さ20nmのGaAs層をIn組成比が0.15で厚さが8nmである2層のInGaAsで挟んだ量子井戸構造とし、基板側第2ガイド層9aはAl組成比0.2とし、下クラッド層10aはAl組成比0.3または0.28とし、その厚さを $t+1.4\mu\text{m}$ とする。活性層7aの上下において屈折率分布が対称な場合、即ち上クラッド層4cと下クラッド層10aとのAl組成比が同じであって屈折率が等しい場合の結果を破線で、また、活性層7a上下において屈折率分布が非対称な場合、即ち上クラッド層4cよりも下クラッド層10aのAl組成比が小さく、屈折率 $n_{Lc} > n_{Lc}$ の場合の結果を実線で、それぞれ示している。

【0047】上下クラッド層の屈折率を非対称構造にすると、対称構造である場合に比べて基本モードと1次モードの境界が上方にシフトすることが分かる。たとえば、 $t=0.40\mu\text{m}$ のとき対称構造ではリッジ幅 $w$ が約 $3.5\mu\text{m}$ に境界があるのに対して、非対称構造では約 $4.15\mu\text{m}$ となる。従って実施の形態2の場合と同様の効果が見られる。

【0048】なお、本実施の形態5においては、下クラッド層10cの屈折率のみを上クラッド層4cの屈折率に対して大きくして、屈折率分布の活性層7aの上下で非対称としたが、本発明においては、上下クラッド層の屈折率を非対称にするとともに基板側の第1ガイド層及び第2ガイド層を上記実施の形態4に示すような構造にしても、上記実施の形態5と同様の効果を奏する。

【0049】実施の形態6. 図8は、本発明の実施の形態6に係る半導体レーザの構造を示す断面図(図8(a))、及びその厚さ方向の屈折率分布を示す図(図8(b))であり、この実施の形態6に係る半導体レーザは、上記実施の形態5に係る半導体レーザにおいて、リッジ部を埋め込むように、 $n\text{-GaAs}$ の電流ブロック層1



4を設けるようにして利得導波型の埋め込みリッジ型の半導体レーザとしたものであり、この電流ブロック層14の上部には絶縁膜2aを配置し、さらに、コンタクト層3の上部と接触するようにp側電極1aを設けるようにしている。この半導体レーザは上記実施の形態5に係る半導体レーザの製造方法において、絶縁膜からなるマスクを用いてリッジ部を選択エッチングにより形成した後、このマスクを用いて電流ブロック層14を選択成長させることにより形成することができる。

【0050】このような実施の形態6に係る埋め込みリッジ型の半導体レーザにおいても、上記実施の形態6と同様の効果を奏することができる。

【0051】なお、本実施の形態6においては、上記実施の形態5に係る半導体レーザのリッジ部を電流ブロック層14で埋め込んで埋め込みリッジ型の半導体レーザとした場合について説明したが、上記実施の形態1～4に係る半導体レーザにおいて、リッジ部を電流ブロック層で埋め込んで埋め込みリッジ型の半導体レーザとした場合においても上記各実施の形態1～4と同様の効果を奏する。

【0052】また、本実施の形態6においては、電流ブロック層としてn-GaAs層を用いるようにしたが、他の材料からなる電流ブロック層を用いるようにしても同様の効果を奏する。例えば上クラッド層よりもAl組成比の高いn-AlGaAs電流ブロック層を設けて屈折率導波型の半導体レーザとしても、上記実施の形態6と同様の効果を奏する。

【0053】なお、上記実施の形態1～6においては、活性層と基板との間の第1半導体層と、活性層上の、リッジ部を上部に備えた第2半導体層とを構成する、下クラッド層、基板側の第1、第2のガイド層、リッジ側の第1、第2ガイド層、または上クラッド層の少なくともいずれか一つの厚さ又は屈折率を変化させて、活性層から見た屈折率分布を非対称とした場合について説明したが、本発明においては、基板と活性層との間に位置する第1半導体層、及び活性層上の第2半導体層の屈折率が、厚さ方向において一定、または活性層から離れるにつれて減少するようにするとともに、光強度分布が活性層を中心として基板側にシフトするよう、活性層を中心とした厚さ方向の屈折率分布を非対称となるものとするにより、上記実施の形態1～6と同様の効果を奏する。

【0054】屈折率導波型の半導体レーザについて、また、実施の形態6においては利得導波型の半導体レーザについて説明したが、本発明は、屈折率導波型の半導体レーザであっても、利得導波型の半導体レーザであっても同様の効果を奏する。

【0055】また、上記実施の形態1～6においては、下クラッド層、基板側の第1、第2のガイド層、リッジ側の第1、第2ガイド層、及び上クラッド層がAlGa

Asからなる場合について説明したが、これらが他の材料からなる場合においても、上記実施の形態1～6と同様の効果を奏する。

【0056】また、上記実施の形態1～6においては、基板がGaAsからなる場合について説明したが、本発明においては基板が他の材料からなる場合でも同様の効果を奏する。

【0057】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、第1導電型半導体基板と、該第1導電型半導体基板上に配置されており、屈折率が基板から離れるにつれて増加する第1半導体層と、該第1半導体層上に配置された活性層と、該活性層上に配置されており、屈折率が上記活性層から離れるにつれて減少する、その上部がリッジ形状を有する第2半導体層とを備えており、上記半導体基板の高さ方向において、光強度分布が上記活性層から見た基板側にシフトするように、上記活性層から見たリッジ形状側と基板側との屈折率分布を非対称となるようにしたから、光を基板側により多く分布させることができ、上クラッド層のリッジ部とリッジ部の外側部分との屈折率差によって生じる幅方向の屈折率分布が導波光に対して与える影響を小さくして、キンク発生の原因である高次モードの発生を防ぐことができ、これにより、キンクの生じる光出力レベルを向上させることができ、実用的な高出力動作が可能なリッジ構造を備えた半導体レーザを提供できる。

【0058】また、この発明によれば、上記第1半導体層を、第1導電型の下クラッド層と、該下クラッド層上に配置された基板側ガイド層とからなるようにし、上記第2半導体層を、リッジ側ガイド層と、該ガイド層上に配置された第2導電型の上クラッド層とからなるようにし、上記基板側ガイド層の厚さまたは屈折率の少なくとも一方を上記リッジ側ガイド層よりも厚くまたは大きくしたから、光を基板側により多く分布させることができ、キンクの生じる光出力レベルを向上させることができ、実用的な高出力動作が可能なリッジ構造を備えた半導体レーザを提供できる。

【0059】また、この発明によれば、上記下クラッド層の屈折率を上クラッド層よりも大きくしたから、光を基板側により多く分布させることができ、キンクの生じる光出力レベルを向上させることができ、実用的な高出力動作が可能なリッジ構造を備えた半導体レーザを提供できる効果があるとともに、遠視野像の広がり度を低減させて、光のアスペクト比を下げるができる。

【0060】また、この発明によれば、上記第1半導体層を、第1導電型の下クラッド層を有するものとし、上記第2半導体層を、第2導電型の上クラッド層を有するものとし、上記下クラッド層の屈折率または厚さの少なくとも一方を上クラッド層よりも大きくまたは厚くしたから、光を基板側により多く分布させることができ、キ

ンクの生じる光出力レベルを向上させることができ、実用的な高出力動作が可能なリッジ構造を備えた半導体レーザを提供できる効果がある。また、特に下クラッド層の屈折率を大きくした場合においては、遠視野像の広がり低減させて、光のアスペクト比を下げるができる。

【0061】また、この発明によれば、上記下クラッド層を、屈折率が活性層に向かって連続的に増加しているものとし、上記上クラッド層を、屈折率が活性層から離れるに連れて連続的に減少しているものとしたから、光を基板側により多く分布させることができ、キンクの生じる光出力レベルを向上させることができ、実用的な高出力動作が可能なリッジ構造を備えた半導体レーザを提供できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る半導体レーザの構造を説明するための図である。

【図2】 この発明の実施の形態2に係る半導体レーザの構造を説明するための図である。

【図3】 この発明の実施の形態2に係る半導体レーザのシミュレーション結果を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態3に係る半導体レーザの構造を説明するための図である。

【図5】 この発明の実施の形態4に係る半導体レーザの構造を説明するための図である。

【図6】 この発明の実施の形態5に係る半導体レーザの構造を説明するための図である。

【図7】 この発明の実施の形態5に係る半導体レーザのシミュレーション結果を示す図である。

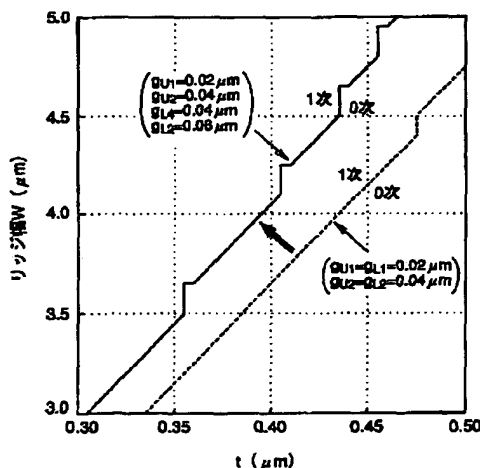
【図8】 この発明の実施の形態6に係る半導体レーザの構造を説明するための図である。

【図9】 従来の半導体レーザの構造を説明するための図である。

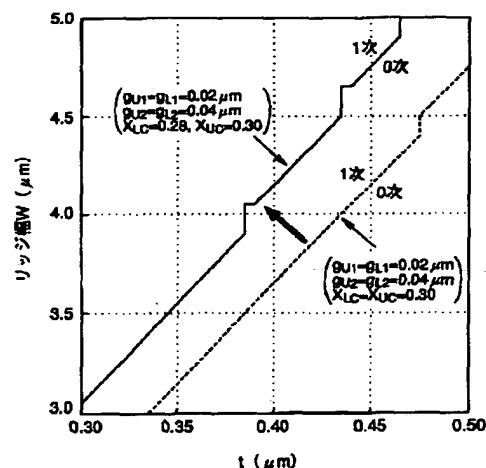
#### 【符号の説明】

1, 1a p側電極、2, 2a 絶縁膜、3 p-GaAsコンタクト層、4 p-AlGaAs上クラッド層、4a p-AlGaAs上クラッド層、4b p-AlGaAs上クラッド層、4c p-AlGaAs上クラッド層、5 リッジ側アンドープGaInAsP第2ガイド層、5a リッジ側アンドープAlGaAs第2ガイド層、5b リッジ側アンドープAlGaAs第2ガイド層、5c リッジ側アンドープAlGaAs第2ガイド層、5d リッジ側アンドープAlGaAs第2ガイド層、6 リッジ側アンドープGaAs第1ガイド層、6a リッジ側アンドープGaAs第1ガイド層、6b リッジ側アンドープGaAs第1ガイド層、6c リッジ側アンドープGaAs第1ガイド層、6d リッジ側アンドープGaAs第1ガイド層、7a アンドープInGaAs活性層、8 基板側アンドープGaAs第1ガイド層、8a 基板側アンドープGaAs第1ガイド層、8b 基板側アンドープGaAs第1ガイド層、8c 基板側アンドープGaAs第1ガイド層、8d 基板側アンドープGaAs第1ガイド層、9 基板側アンドープAlGaAs第2ガイド層、9a 基板側アンドープAlGaAs第2ガイド層、9b 基板側アンドープAlGaAs第2ガイド層、9c 基板側アンドープAlGaAs第2ガイド層、9d 基板側アンドープAlGaAs第2ガイド層、10a n-AlGaAs下クラッド層、10b n-AlGaAs下クラッド層、10c n-AlGaAs下クラッド層、12 n-GaAs基板、13 n側電極、14 n-GaAs電流ブロック層。

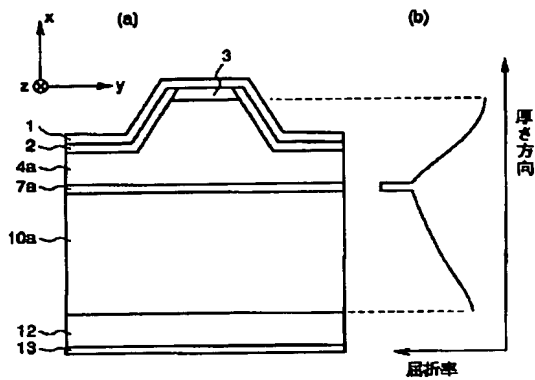
【図3】



【図7】

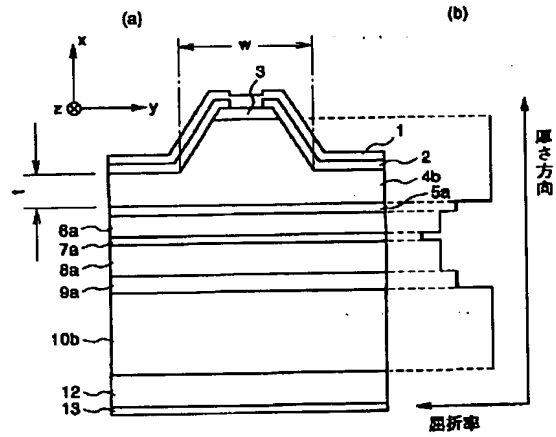


【図1】



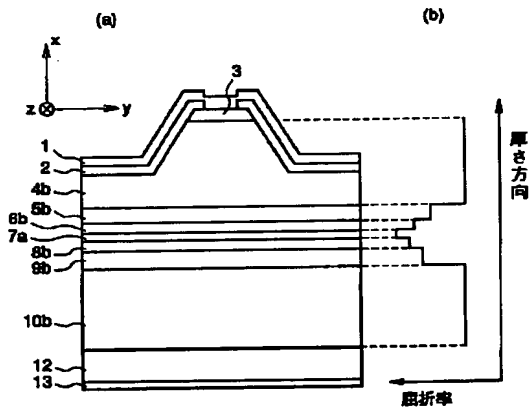
- 1: p側電極
- 2: 絶縁膜
- 3: p-GaAsコンタクト層
- 4a: p-AlGaAs上クラッド層
- 7a: アンダーブインGaAs活性層
- 10a: n-AlGaAs下クラッド層
- 12: n-GaAs基板
- 13: n側電極

【図2】



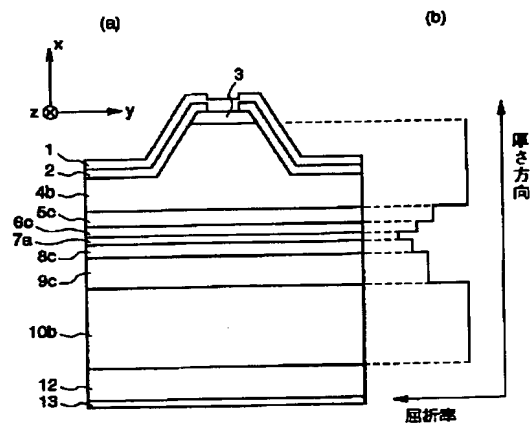
- 4b: p-AlGaAs上クラッド層
- 5a: リッジ側アンダーブAlGaAs第2ガイド層
- 6a: リッジ側アンダーブAlGaAs第1ガイド層
- 8a: 基板側アンダーブGaAs第1ガイド層
- 9a: 基板側アンダーブAlGaAs第2ガイド層
- 10b: n-AlGaAs下クラッド層

【図4】



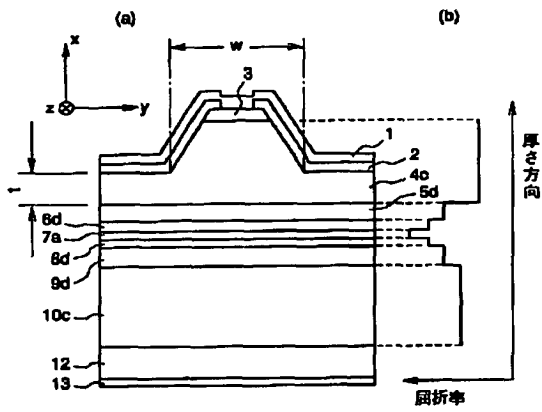
- 5b: リッジ側アンダーブAlGaAs第2ガイド層
- 6b: リッジ側アンダーブGaAs第1ガイド層
- 8b: 基板側アンダーブGaAs第1ガイド層
- 9b: 基板側アンダーブAlGaAs第2ガイド層

【図5】



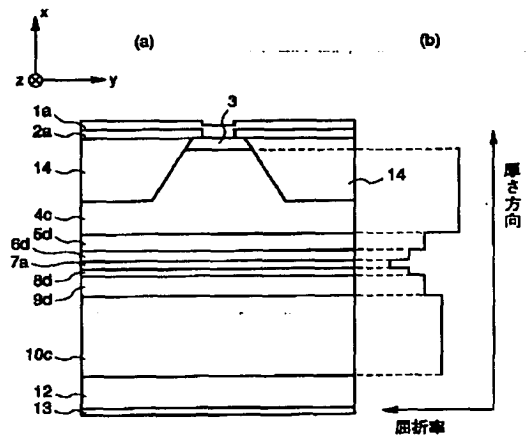
- 5c: リッジ側アンダーブAlGaAs第2ガイド層
- 6c: リッジ側アンダーブGaAs第1ガイド層
- 8c: 基板側アンダーブGaAs第1ガイド層
- 9c: 基板側アンダーブAlGaAs第2ガイド層

【図6】



4c: p-AlGaAsクラッド層 (屈折率 $n_{1c}$ )  
 5d: リッジ側アンドープAlGaAs第2ガイド層  
 6d: リッジ側アンドープGaAs第1ガイド層  
 8d: 基板側アンドープGaAs第1ガイド層  
 9d: 基板側アンドープAlGaAs第2ガイド層  
 10c: n-AlGaAsクラッド層 (屈折率 $n_{1c}$ )

【図8】



1a: p側電極  
 2a: 絶縁膜  
 14: n-GaAs電流ブロック層

【図9】

